

文章编号: 2096-1618(2019)04-0428-07

# 近50年内蒙古夏季降水气候特征分析

庞波, 毛文书, 张禄英

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**利用内蒙古气象局提供的1960–2011年共52年具有相对连续数据的46个站点的逐日降水量资料,针对内蒙古近50年夏季降水、强降水的时空分布及周期变化问题,采用线性拟合线性趋势估计法、经验正交函数分解(EOF)方法、9点平滑方法、非参数统计检验法及小波分析等多种统计方法分析,对内蒙古近50年夏季降水气候特征进行了详细分析。研究表明:内蒙古夏季平均降水分布不均匀,夏季降水的均值越大的地区年际起伏也越大。年平均降水和年际起伏总体都呈现“东高西低”分布特征。发生强降水的平均日数最多的地区也位于内蒙古东北部呼伦贝尔和兴安盟交界地区,而中部偏北地区和西北则较少。内蒙古夏季降水的时空变化特征反映出20世纪80年代初到90年代中期内蒙古东部的降水增多,但从90年代中期以后减少,其在2000年前后存在减小的突变,并且具有5~7年的周期变化。

**关键词:**气象学;夏季降水;气候特征;时空演变;内蒙古

**中图分类号:**P468. O<sup>+</sup>24

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcui.2019.04.016

## 0 引言

中国是气候灾害多发的国家,干旱洪涝等自然灾害对国民经济有严重影响,因而降水是描述一个地区乃至全球气候变化的重要指标。根据IPCC第五次评估报告<sup>[1]</sup>指出由于温室气体排放导致全球气候变暖的背景下。一系列的极端降水事件将会更频繁,短时间内多降水将会导致降水的强度增加。内蒙古位于中国的北部边疆,气候比较复杂,尤其在夏季降水量比较集中,多为强度较大的阵性降水。而内蒙古大部分地区为沙壤土,土质比较疏松,干旱又会造成植被生长质量差,地表裸露,强降水带来的暴雨经常会形成山洪以及泥石流等灾害,国民经济将会受到严重影响。近年来,许多学者对华北地区的夏季降水分布的时空特征做了研究,取得了有价值的成果。任国玉等<sup>[2]</sup>计算中国全年季节降水量长期变化趋势特征指数,研究表明长江中下游地区夏季降水量呈明显的增加趋势,北方的黄河流域、山东和辽宁省夏季降水量减少显著,但是中国东北部、华北部和内蒙古的降水或增加或不明显。李红梅等<sup>[3]</sup>讨论了不同强度的降水在东部的变化特征,研究表明近40年来盛夏长江流域降水量、降水频率、极端降水频率及暴雨降水强度均呈现增大趋势,在华北地区则减小,除降水频率在长江流域的变化趋势

绝对值比华北地区小外,另3个指标在长江流域的趋势变化值大约是后者的两倍。翟盘茂等<sup>[4]</sup>通过分析北方极端强降水事件频率和变化趋势得出华北地区的强降水事件趋于减少,但西北地区强降水事件趋于增多。日降水量大于25 mm的大雨日数在内蒙古东部和东北部趋于增多,但是在华北大部暴雨频率明显减少。高晶<sup>[5]</sup>对内蒙古夏季降水时空变化特征以及相关影响因子作了分析,得出内蒙古夏季降水主要集中在7月,近40年来内蒙古夏季降水主要有3种类型:总体一致型、东西差异型、中西部偏东地区与东部偏南地区差异型,并得出影响内蒙古降水的主要因子有大气环流和海表温度。高涛等<sup>[6]</sup>总结出20世纪60年代内蒙古整体降水量在空间分布上很少,但70年代西部明显大于东部;在80年代内蒙古地区降水量变化呈现出东多中西部较少;90年代普遍性增加。任志艳等<sup>[7-8]</sup>通过计算PCD和PCP得出了50年(1960–2012年)内蒙古地区的年平均降水量是295.3 mm,表现出下降趋势,同时在空间上表现出从东南到西北地区增加的趋势。

从以上分析和研究进展来看,近年来对华北等地的空间降水和成因的研究很多,但是对内蒙古夏季降水及强降水、周期变化规律的研究甚少。为此基于内蒙古降水空间分布讨论了内蒙古各个站点夏季日降水量的强度能达到何种程度,也进一步讨论内蒙古夏季平均降水的变化周期,从而提高气候预测水平,这对提高气候的预测水平和国民经济有着极其重要的科学意义。

1 资料和方法

1.1 资料来源

从内蒙古 50 个地面站点中,选取了 1960–2011 年共 52 年所具有相对连续数据的 46 个站点,并结合 1° 分辨率的等经度纬度网格海拔数据,绘制内蒙古地形与站点分布图(图 1)。可见,内蒙古呈现“东北–西南”走向狭长分布特征,其中内蒙古东北部为海拔 500 ~ 1000 m 大兴安岭山脉,东部偏南地区濒临东北平原地带海拔不足 500 m,中部有海拔为 1500 m 以上的阴山山脉,西部偏南地区有祁连山脉与贺兰山脉,西部偏北地区为阿拉善沙漠。选取 46 个站点覆盖内蒙古各个方位的大部分区域,因此可以反映出内蒙古夏季降水的气候特征,并针对这些数据所表征出来的内蒙古夏季降水的特征展开讨论。

1.2 方法介绍

采用线性拟合<sup>[9]</sup>、线性趋势估计法<sup>[10]</sup>、经验正交函数分解(EOF)方法<sup>[11]</sup>、9 点平滑方法<sup>[12]</sup>、非参数统计检验法(mann-kendall)<sup>[13]</sup>及小波分析法等<sup>[14–15]</sup>。

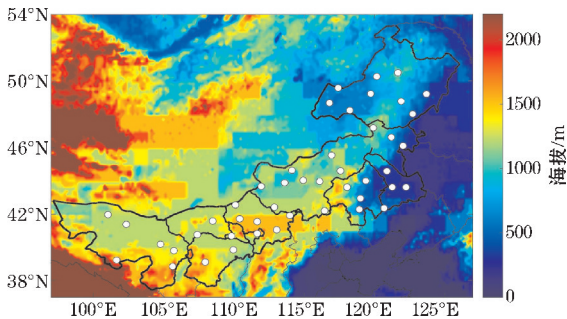


图 1 内蒙古海拔及站点分布

2 内蒙古夏季降水的空间变化

2.1 内蒙古夏季降水空间分布特征

为研究内蒙古夏季降水空间分布的基本特征,首先对 1960–2011 年共 52 年夏季内蒙古各个站点的日降水量数据求逐年夏季累积降水量,之后求 52 年的平均值,由此可见内蒙古夏季平均降水分布东西差异明显,其中内蒙古东北部呼伦贝尔东部地区夏季年平均累积降水量可达到 350 mm 以上,中部过渡为 150 mm 上下,在内蒙古中部偏南的呼和浩特周边地区也有站点可达到 200 ~ 250 mm,而最西部阿拉善盟夏季年平均降水只有不足 50 mm,呈现“东多西少”的分布特征。

为进一步讨论各个站点夏季降水的起伏程度,对各个站点逐年的夏季累积降水求标准差(图 2a),发现标准差的空间分布特征与均值的空间分布特征(图 2b)存在一定的相似之处,夏季降水的均值越大的地区年际起伏也越大,其中内蒙古东部偏北呼伦贝尔与兴安盟交界地区标准差最大可达 120 mm 以上,内蒙古中部偏南呼和浩特市南部周边地区也可达 100 mm 左右,而西部阿拉善盟的夏季降水年际起伏最小,标准差最低只有约 20 mm,总体而言也呈现“东高西低”分布特征。

此外,为讨论内蒙古夏季降水变化的基本趋势,对各站点夏季累积降水的逐年序列进行线性拟合,求得线性趋势及其显著性(图 2c),可见大部分站点的线性趋势为负值,但只有东部最南端通辽市和赤峰市的两个站点的气候趋势通过了显著性 0.05 的检验,线性变化趋势为每年减小 1.8 mm。而大多数站点的线性趋势没有通过显著性检验,至少可以表明内蒙古夏季降水 1960–2011 年总体的变化特征并非是线性的。

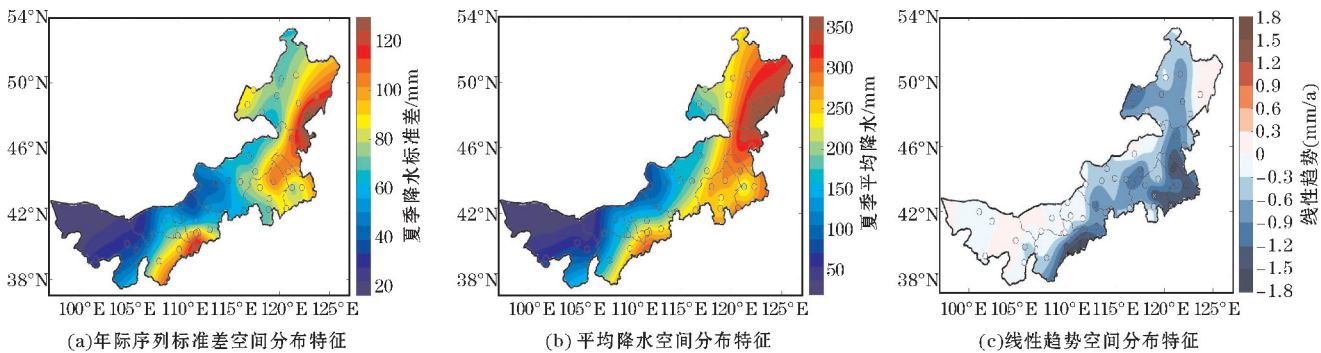


图 2 内蒙古夏季平均降水年际序列标准差、平均降水、线性趋势的空间分布特征  
(等值线填色图为线性拟合的斜率,白色 X 为线性趋势显著性优于 0.05 的站点)

2.2 内蒙古夏季强降水的空间分布特征

强降水同样也是研究降水气候特征时需要关注的变

量,为讨论内蒙古各个站点夏季日降水量的强度,对每个站点逐日降水数据中有降水发生的降水量进行排序,取 95% 降水量,得到了传统意义上的“极端降水”阈值

(图3)。由图可见,内蒙古夏季各种95%日降水量数值的空间分布和上一节的均值及标准差分布也比较相似,在整个东部地区以及中部偏南地区,95%日降水可以达到26 mm以上,中部其他大部分地区在12~16 mm,而西部只有8~10 mm。为进一步了解内蒙古各个地区的最大日降水,统计各站点1960–2011年最大日降水量并且绘

制空间分布(图3b),可见历史上最大降水并非与气候态降水分布完全一致,最大日降水出现在东部通辽市的最南端和中部西南侧鄂尔多斯市南端,可以达到160 mm以上,达到了广泛意义上的大暴雨的等级。而降水稀少的最西部的历史最大日降水也可以达到30 mm以上。

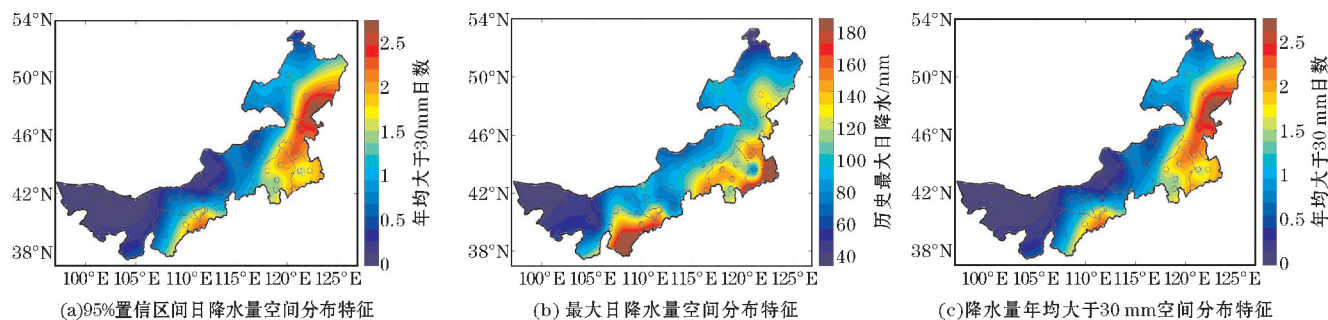


图3 内蒙古夏季95%日降水量、最大日降水量、年均大于30 mm的日数空间分布特征

鉴于传统意义上的极端降水阈值8 mm或26 mm数值本身较低,而内蒙古各站点日降水均达到30 mm以上,因此讨论中以30 mm作为界定强降水的统一标准,对内蒙古夏季各站点发生强降水的日数进行统计(图3c)。由图可见,内蒙古东部偏北呼伦贝尔和兴安盟交界地区发生强降水的平均日数最多,在1960–2011年共52年平均每年出现2.5 d以上,而中部偏北地区和西北则较少,平均每年出现不足0.5 d,即平均2年以上才出现一次30 mm以上的强降水。

### 3 内蒙古夏季降水时空演变特征

#### 3.1 内蒙古夏季平均降水的 EOF 分解

研究发现,大部分的站点并没有显著的线性变化趋势,且空间分布也存在较大的差异,不适合将所有站点直接做简单的空间平均进行讨论,因此为研究内蒙古夏季平均降水的时空变化特征,首先对内蒙古各种夏季降水的距平场做经验正交函数(EOF)分析。得出前5个模态的方差贡献情况,第一模态解释方差贡献率为40.6%,代表了主要的时空变化特征,前3个模态累积方差贡献率为72.4%,已经可以代表大部分的特征。

在夏季平均降水距平场 EOF 基本结果的基础上,将主成分乘以相应模态特征值的开方,得到了标准化的时间系数,同时将特征向量乘以相应模态特征值的开方,得到与原场量纲相同的空间型,度量某一模态下降

水场随标准化时间系数起伏变化的程度。另外对时间系数做9点平滑,大致表征出时间系数的年代际变化。由第一模态的结果(图4a,b)可见,第一模态空间型均为正相位,表明了内蒙古各个地区空间型随第一模态时间系数起伏变化的趋势是相态的,其中正相位最大值集中在内蒙古东部呼伦贝尔和兴安盟的交界地区,表明了内蒙古夏季平均降水最主要的年际变化特征是其东部降水的变化,从时间系数9点平滑所表征出来的年代际变化来看,20世纪80年代初到90年代中期内蒙古东部的降水增多,但从90年代中期以后减少,特别是1999年以后的时间系数均为负值,表明整个21世纪00年代内蒙古东部降水总体小于历史平均水平。第二模态空间型(图4c,d)为内蒙古东部和中部偏南呼和浩特市、鄂尔多斯市及乌兰察布市南部地区的反相位变化,结合相应的时间系数来看,20世纪70年代和90年代,内蒙古中部偏南地区夏季降水相对较多而东部相对较少,80年代反之。第三模态空间型(图4e,f)为内蒙古最东北端呼伦贝尔大部分地区、东部南侧通辽市与赤峰市以及中部偏西南侧鄂尔多斯市与呼和浩特市等地区的“正–负–正”的相位分布,结合相应的时间系数可以看出,在70年代中期到80年代末,上述分布所反映出的内蒙古夏季降水时空变化特征是“两边高而中间低”,在其他年代则反之。

#### 3.2 内蒙古夏季平均降水的突变检验

为进一步讨论内蒙古夏季平均降水的趋势与突变,对上一节中 EOF 前3个模态的时间系数分别进行



M-K 突变检验。由图 (5a) 可见,第一模态时间系数 M-K 检验 UF 和 UB 统计量在 2000 年左右有交叉点,而后 UF 统计量持续减小并且在 21 世纪 00 年代末超过了显著性阈值,这表明了内蒙古东部降水在 21 世纪 00 年前后存在突变点,并在 20 世纪 00 年代表现出明显的减小趋势。第二模态时间系数的 M-K 检验

(图 5b)中虽然没有显示出突变点,但 UB 统计量自 20 世纪 60 年起一直为负并在 20 世纪 90 年代前期短暂超过了显著性阈值线,表明第二模态时间系数在相应时段内存在一定的增加趋势。而第三模态时间系数既没有显示出显著趋势,也没有显示出显著突变。

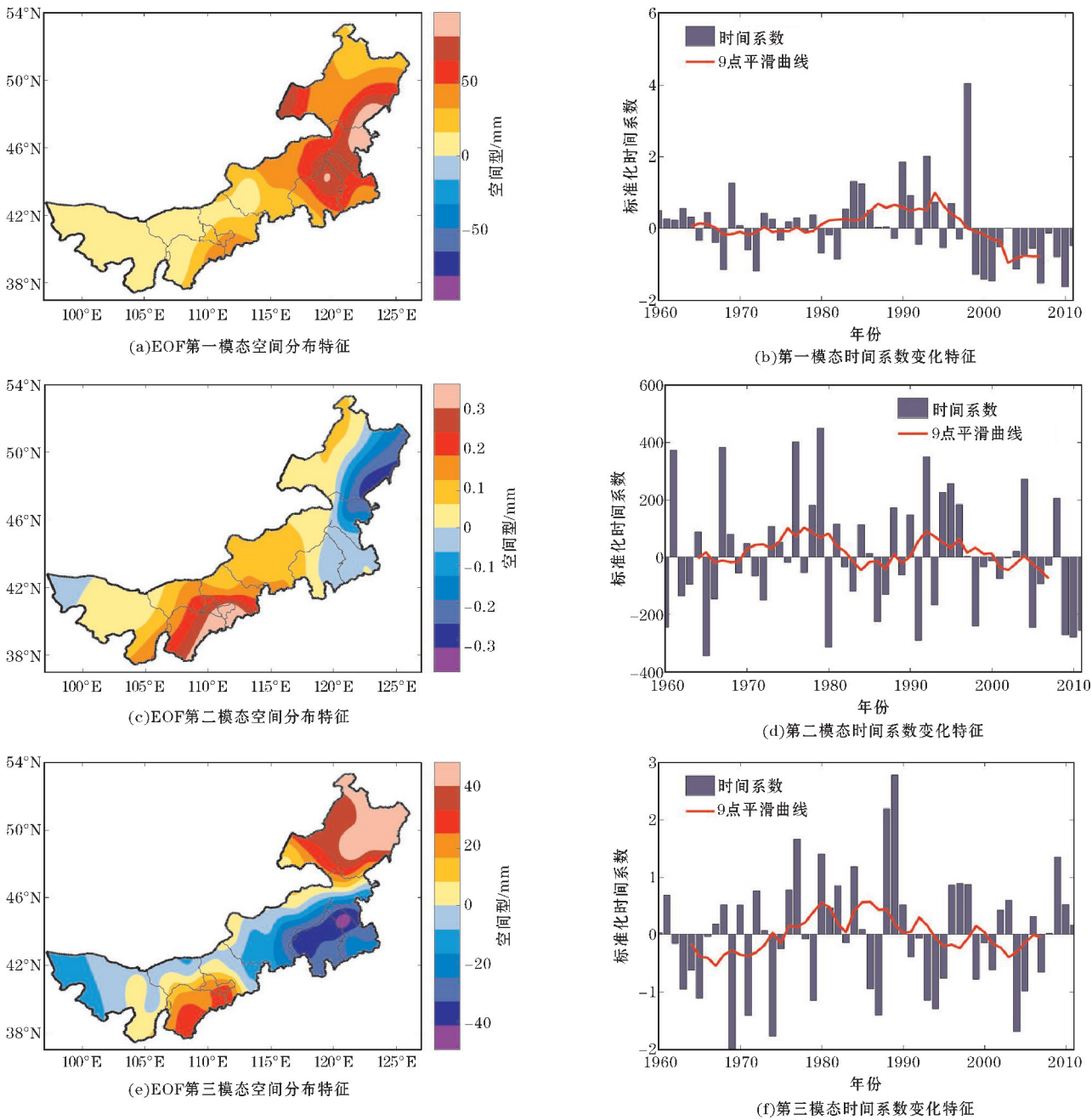


图 4 内蒙古夏季降水量 EOF 前 3 个模态空间分布及相应的时间系数

3.3 内蒙古夏季平均降水的周期变化

为进一步讨论内蒙古夏季平均降水的变化周期,对 3.1 节中 EOF 前 3 个模态的时间系数分别进行

Morlet 小波变换并绘制小波系数图与小波系数方差图。由图 6 可见,第一模态(图 6a)时间系数的小波系数主要在 1980–2000 年存在 5 ~ 10 a 主周期上明显的正负相位交替,由小波系数方差总体来看,其存在

5~7 a 的主周期。第二模态(图 6c)存在多个时间尺度的周期变化,由小波系数方差诊断出其存在 6 a、10 a 和 22 a 的变化周期。第三模态(图 6e)时间系数的小波系数在 1980 年以前存在 5 a 左右周期的正负相位

周期,从 20 世纪 80 年代末开始又出现 5~15 a 的正负相位交替,由小波系数方差显示其总体存在 7~10 a 的变化周期。

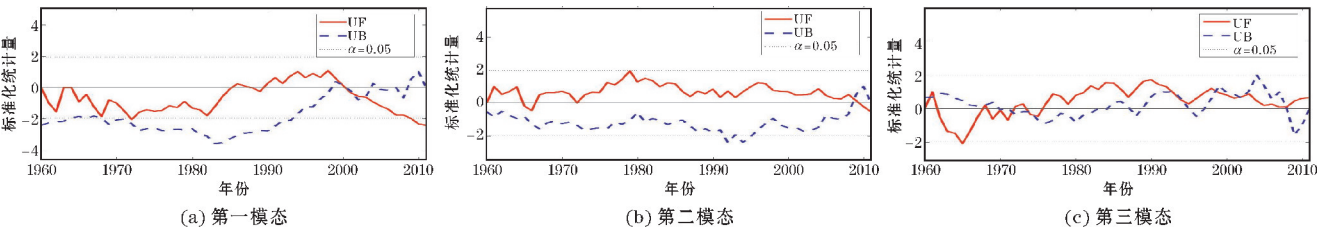


图 5 夏季降水量 EOF 分解前 3 模态时间系数的 M-K 突变检验

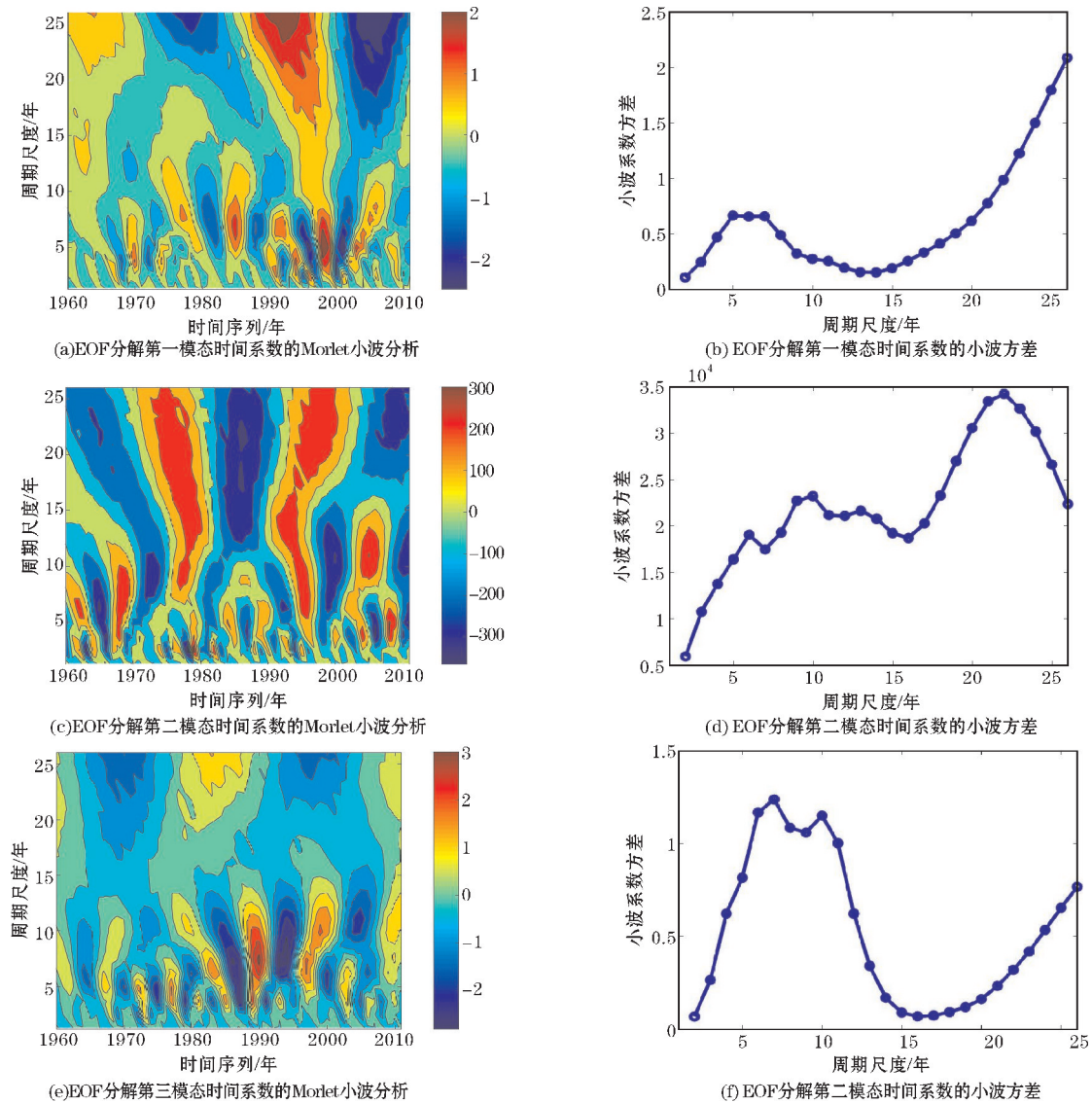


图 6 EOF 分解前 3 个模态时间系数的 Morlet 小波分析及小波方差

4 结论

基于内蒙古 46 个站点 1960–2011 年共 52 年的地

面降水数据,结合线性趋势、EOF、9 点平滑、M-K 趋势与突变检验、小波分析等方法,对内蒙古夏季平均降水和强降水的时空分布特征及周期变化进行了分析,主要结论如下:(1)在对内蒙古夏季平均降水的基本空

间分布特征进行分析时发现,内蒙古东北呼伦贝尔东部地区夏季年均累积降水量可达到350 mm左右,中部过渡为150 mm上下,在内蒙古中部偏南的呼和浩特市周边地区也有站点可达到200~250 mm,而最西部阿拉善盟夏季年均降水只有不足50 mm,呈现“东多西少”的分布。标准差反映出的夏季平均降水年际起伏同样呈现“东高西低”的分布。

(2)在对内蒙古夏季强降水的基本空间分布特征进行分析时发现,夏季降水日95%的数值仍然呈现“东高西低”的分布,在整个东部地区以及中部偏南地区可达26 mm以上,中部其他大部分地区在12~16 mm,而西部只有8~10 mm。历史最大日降水出现在东部通辽市的最南端和中部西南侧鄂尔多斯市南端,可达160 mm以上。以日降水30 mm作为强降水阈值来统计强降水天数发现,内蒙古东部偏北呼伦贝尔和兴安盟交界地区发生强降水的平均日数最多,在1960~2011年共52年平均每年出现2.5 d以上,而中部偏北地区和西北则较少,平均每年出现不足0.5 d。

(3)在对内蒙古夏季平均降水时空变化特征进行分析时发现,其第一模态反映出的以内蒙古东部呼伦贝尔和兴安盟交界地区为主的全省同相位变化,20世纪80年代初到90年代中期内蒙东部的降水是增多的,但从90年代中期以后是减少的,其在2000年前后存在减小的突变,第二模态反映的是内蒙古东部和内蒙古中部偏南地区的反相位变化,70年代和90年代,内蒙古中部偏南地区夏季降水相对较多而东部相对较少,80年代反之。第三模态反映的是内蒙古最东北端呼伦贝尔大部分地区、东部南侧通辽市与赤峰市以及中部偏西南侧鄂尔多斯市与呼和浩特市等地区的“正-负-正”的相位分布,总体反映出的内蒙古夏季降水时空变化特征是“两边高而中间低”,在其他年代则反之。

(4)在对内蒙古夏季平均降水周期变化分析时发现第一模态主要在1980~2000年存在5~10 a主周期上明显的正负相位交替,存在5~7 a的主周期。第二模态存在多个时间尺度的周期变化,存在6 a、10 a和22 a的变化周期。第三模态在1980年以前存在5 a左右周期的正负相位周期,从20世纪80年代末开始又出现5~15 a的正负相位交替,其总体存在7~10 a的变化周期。

## 参考文献:

- 告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土,2013,35(5):1068-1076.
- [2] 任国玉,吴虹,陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报,2000,11(3):322-330.
- [3] 李红梅,周天军,宇如聪. 近四十年我国东部盛夏日降水特性变化分析[J]. 大气科学,2008,2:258-370.
- [4] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报,2003,58:1-10.
- [5] 高晶. 内蒙古夏季降水变化特征及其影响因子的研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2013.
- [6] 高涛,肖苏君,乌兰. 近47年(1961-2007年)内蒙古地区降水和气温的时空变化特征[J]. 内蒙古气象,2009(1):3-49.
- [7] 任志艳,延军平,王鹏涛. 1960-2012年内蒙古降水集中度和降水集中期时空变化[J]. 中国沙漠,2016,36(3):760-766.
- [8] 王璐璐,延军平,王鹏涛,等. 海河流域不同等级降水时空变化特征及其影响[J]. 资源科学,2015,37(4):690-699.
- [9] 刘朝英,谭清波,李舟鑫,等. 罗甸县近62a降水变化特征分析[C]. 贵州省气象学会学术年会,2013.
- [10] 鄢志宇,杨桂娟. 近50年锦州地区降水及早涝变化特征分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(12):5572-5573.
- [11] 赵嘉阳,王文辉,靳全锋,等. 基于EOF的福建省降水量时空变化特征分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2017,31(2):73-79.
- [12] 黄济琛,陆宝宏,徐玲玲,等. 2010年降水变化特征研究[J]. 农业灾害研究,2015,5(11):37-52.
- [13] 简虹,骆云中,谢德体. 基于Mann-Kendall法和小波分析的降水变化特征研究——以重庆市沙坪坝区为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2011,36(4):217-222.
- [14] 陈伟,汤静,卜思阳,等. 基于Mann-Kendall法和小波分析的沈阳站1951-2010年降水变化特征研究[J]. 农业灾害研究,2015,5(11):37-52.
- [15] 谢庄,曹鸿兴,李慧,等. 近百余年北京气候变化的小波特征[J]. 气象学报,2000(3).

## Climatic Characteristics of Summer Precipitation are Studied in Inner Mongolia in Recent 50 Years

PANG Bo, MAO Wenshu, ZHANG Luying

(College of Atmosphere Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** According to the 46 stations with relatively continuous data from 1960 to 2011 provided by Inner Mongolia Meteorological Bureau. The paper aim at the periodic variation of the temporal, spatial distribution of precipitation and heavy precipitation over the past 50 years in Inner Mongolia were studied by using the methods which include the linear fitting linear trend estimation method, EOF method, 9-point smoothing method, Mann-Kendall and wavelet analysis. The results show that the average summer precipitation in Inner Mongolia is uneven, and the annual average fluctuation of the summer precipitation is larger. The annual average precipitation and the annual fluctuations are generally characterized by the distribution of “east high and low west”. The area with the highest number of days with strong precipitation is also located in the border area of Hulunbeier and Xing’an League in northeastern Inner Mongolia, while the north and northwest regions are less. The temporal and spatial variation characteristics of summer precipitation in Inner Mongolia reflect the increase of precipitation in the eastern part of the Mongolian period from the early 1980s to the mid-1990s, but it has decreased since the mid-1990s. There are reduced mutations around 2000 and the cycle changes of 5–7 years.

**Keywords:** meteorology; summer precipitation; climate; space-time change; Inner Mongolia